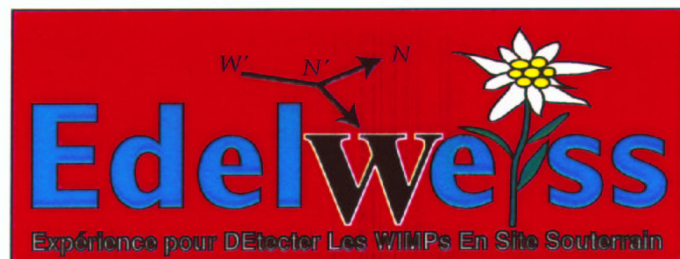


Recherche de matière noire par l'expérience Edelweiss :

L.Chabert

Institut de Physique Nucléaire de Lyon

- ★ CEA-Saclay DAPNIA/DRECAM
- ★ CRTBT Grenoble
- ★ CSNSM Orsay
- ★ Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Kernphysik
- ★ IAP Paris
- ★ IPN Lyon
- ★ Laboratoire Souterrain de Modane



Journées de Cryogénie et Supraconductivité /Aussois 20-23 Mai



L.Chabert IPNL

Plan

- ★ La matière noire
 - ★ Motivations de sa recherche
 - ★ Nature
- ★ Détection de matière noire
 - ★ Signatures et contraintes
 - ★ Stratégies de détection
- ★ EDELWEISS
 - ★ Les détecteurs utilisés
 - ★ Résultats 2002
 - ★ Dispositif Edelweiss II / Perspectives

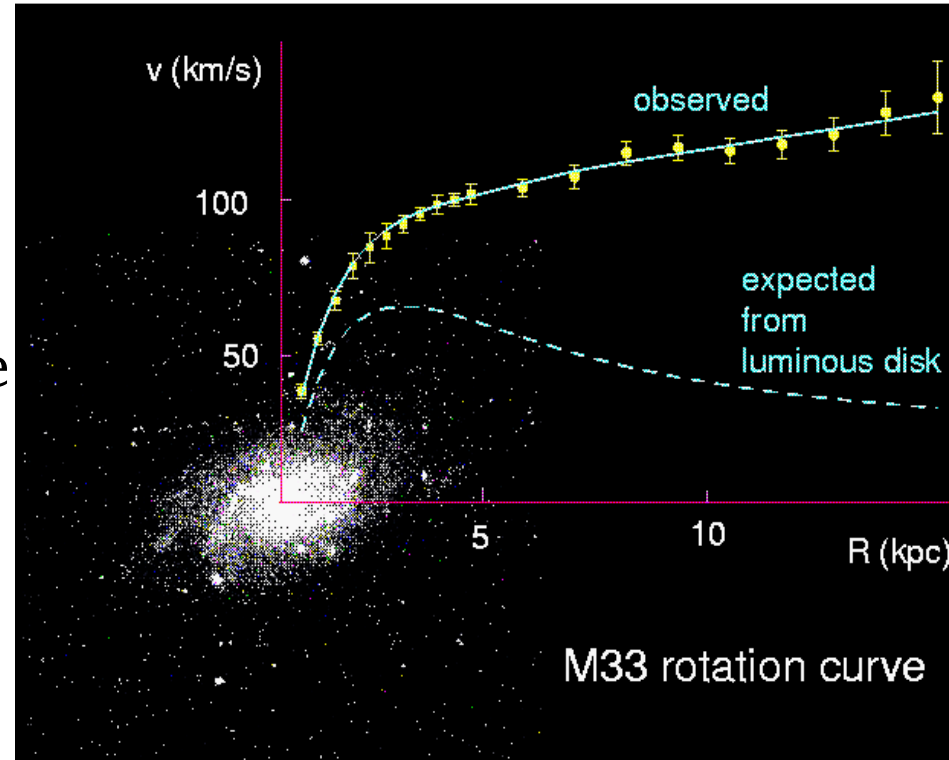


Motivations

- ★ Courbes de rotation des galaxies spirales : $v = \text{cte}$
 \Rightarrow existence d'un halo de matière noire
- ★ Paramètres influant directement sur la détection :

$$\bar{v} = 270 \text{ km.s}^{-1}$$

$$\rho_0 = 0.3 \text{ GeV.cm}^{-3} \approx 0.3 \text{ protons.cm}^{-3}$$



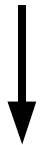
Le Modèle Cosmologique Standard

$$\Omega_k + \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$$

$\Omega_k \approx 0$ \longrightarrow Univers Plat

$\Omega_\Lambda \approx 0.7$ \longrightarrow SN1a

$\Omega_m \approx 0.3$ avec $\Omega_{baryonique} \approx 0.04$ \longrightarrow Nucléosynthèse

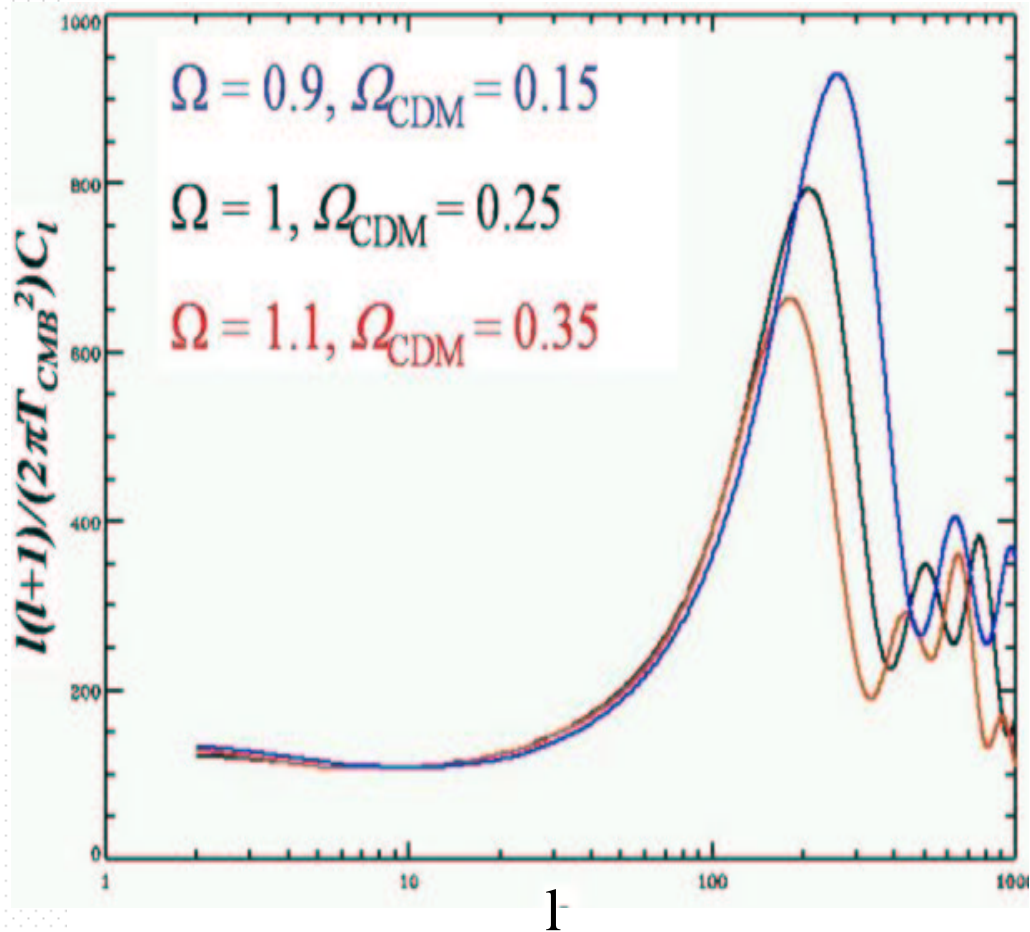
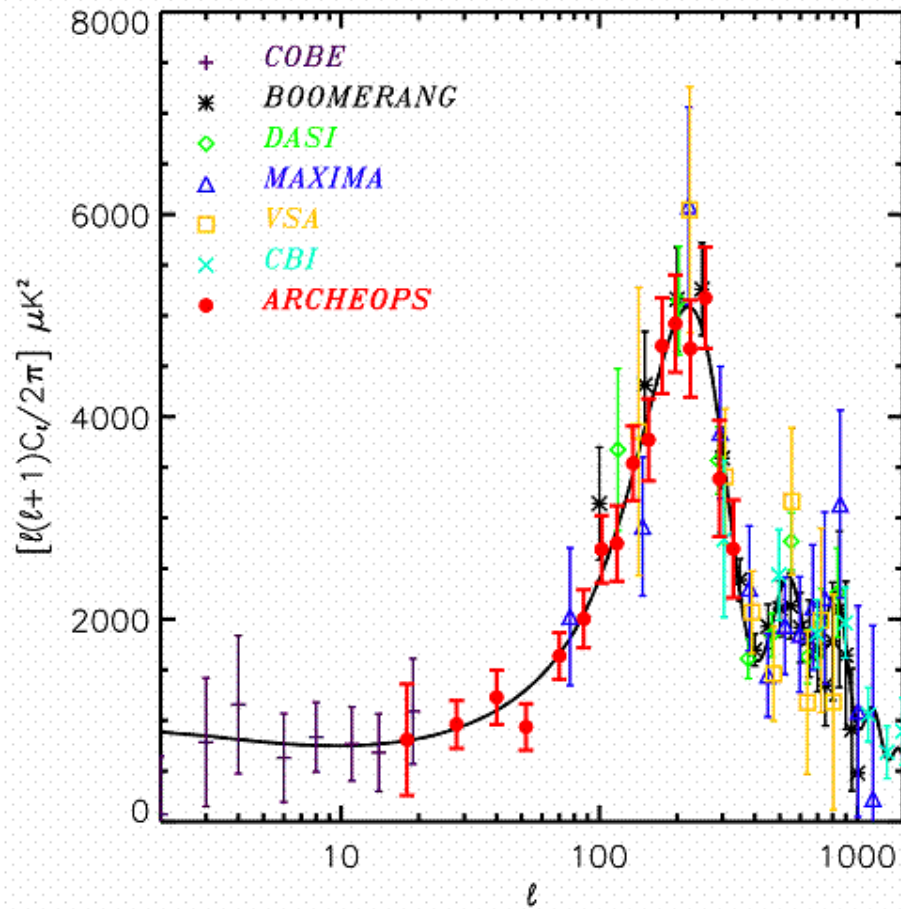


Archeops/WMAP

=> Matière noire dominante



Contraintes sur les paramètres cosmologiques



Les composantes de la matière noire (1)

- ★ Matière noire baryonique :

- ★ MACHOs : « objet massif compact dans le halo »

Objets astronomiques denses et ne rayonnant pas

avec $0.01M_{\odot} < M < 0.08M_{\odot}$ (MACHO,EROS)

- ★ Poussières d'étoiles, hydrogène gazeux $\Omega_{b_{gaz}} < 0.018$

- ★ Etoiles à neutrons

- ★ Trous Noirs

→ Contribution mineure à la masse du halo



Les composantes de la matière noire (2)

- ★ Matière noire non baryonique :
 - ★ Matière noire chaude (HDM)
 - ★ Neutrinos $\Omega_\nu < 0.18$ et $\Omega_m \approx 0.3$ (SuperKamiokande, SNO)
 - ★ Matière noire froide (CDM)
 - ★ WIMPs : Particules Massives Interagissant Faiblement
 - ★ Reliquat de particules stables : apparu lorsque la température de l'univers permettait : $\omega\bar{\omega} \longleftrightarrow l\bar{l}$
 - ★ Détection Indirecte : Recherche des produits d'annihilation
 - ★ Détection directe : Diffusion de WIMP sur noyau

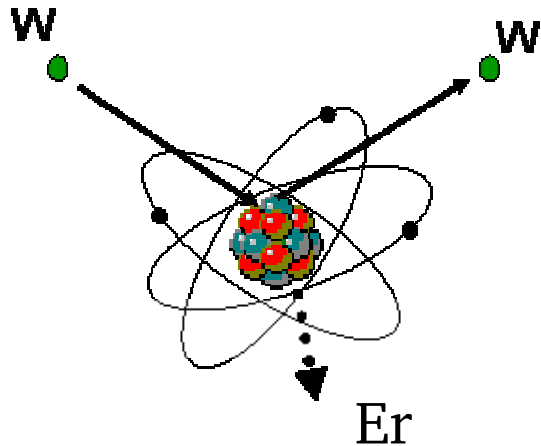


Les composantes de la matière noire (3): Le WIMP supersymétrique

- ★ Dans le cadre du Modèle Supersymétrique Standard Minimal (**MSSM**) si la R-Parité est conservée :
 - ★ Candidat WIMP : **LSP = Neutralino** dans la plupart des modèles
 - ★ $45\text{GeV}(LEP2) < M_\chi < \text{TeV}$
 - ★ Complémentaire avec la recherche du boson de Higgs, étudié sous différent canaux au LHC



La détection directe des WIMPs



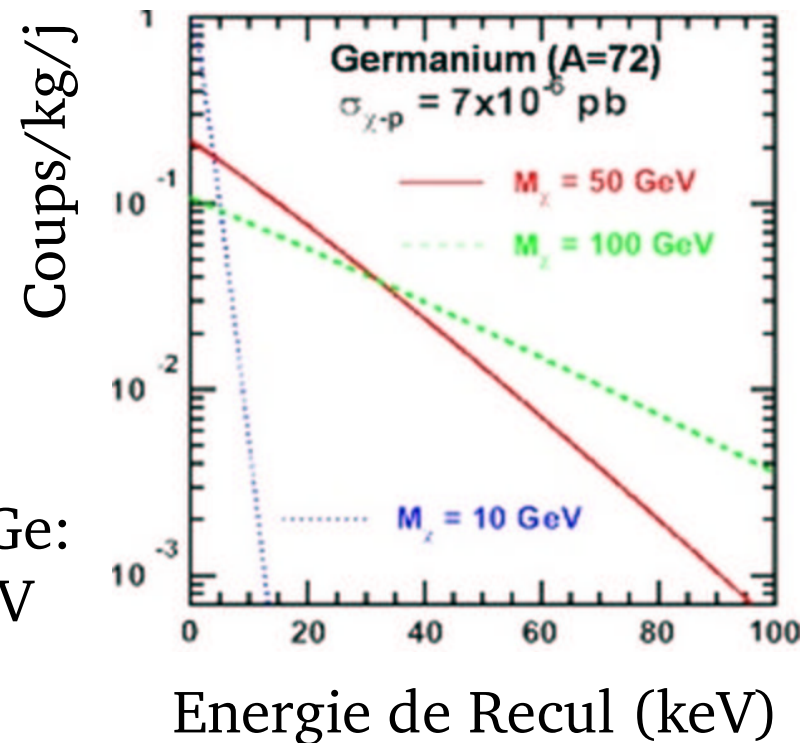
=> Diffusion élastique sur un noyau cible

★ Interaction Scalaire SI :

$$\sigma_{\chi-N} \propto A^2 \sigma_{\chi-p} < pb$$

★ Faibles Energies de recul dans Ge:

$Er < 20 \text{ keV}$ pour $M_{\chi} = 100 \text{ GeV}$



Les contraintes de détection

- ★ Sections efficaces SI faibles :
 - ★ Taux d'événement $R < 1 \text{ evt/kg/j}$ dans Ge
 - ★ Besoin d'un **très bas bruit de fond**
($\sim 0.1 \text{ evt/kg/j}$ pour 10^{-6} pb dans le Ge)
- ★ Energie de recul faible :
 - ★ Besoin d'un **seuil de détection faible**
($\sim 10 \text{ keV}$)



Signatures des WIMPs

- ★ Caractéristiques :

- ★ Forme du spectre $\propto e^{-E_{Recul}}$

- ★ Pas d'interactions multiples

- ★ Signatures :

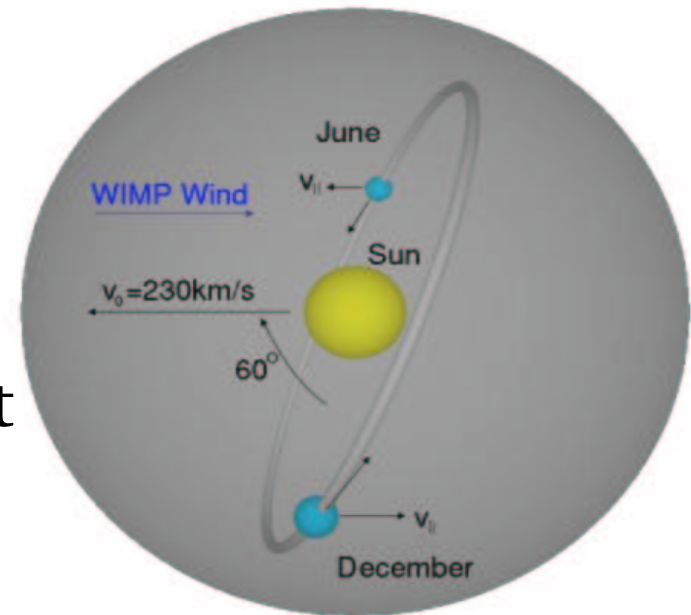
- ★ Identification de reculs nucléaires

- ★ Modulation annuelle du taux d'evt de $\pm 7\%$ max : $\vec{v}_{t/h} = \vec{v}_{s/h} + \vec{v}_{t/s}$

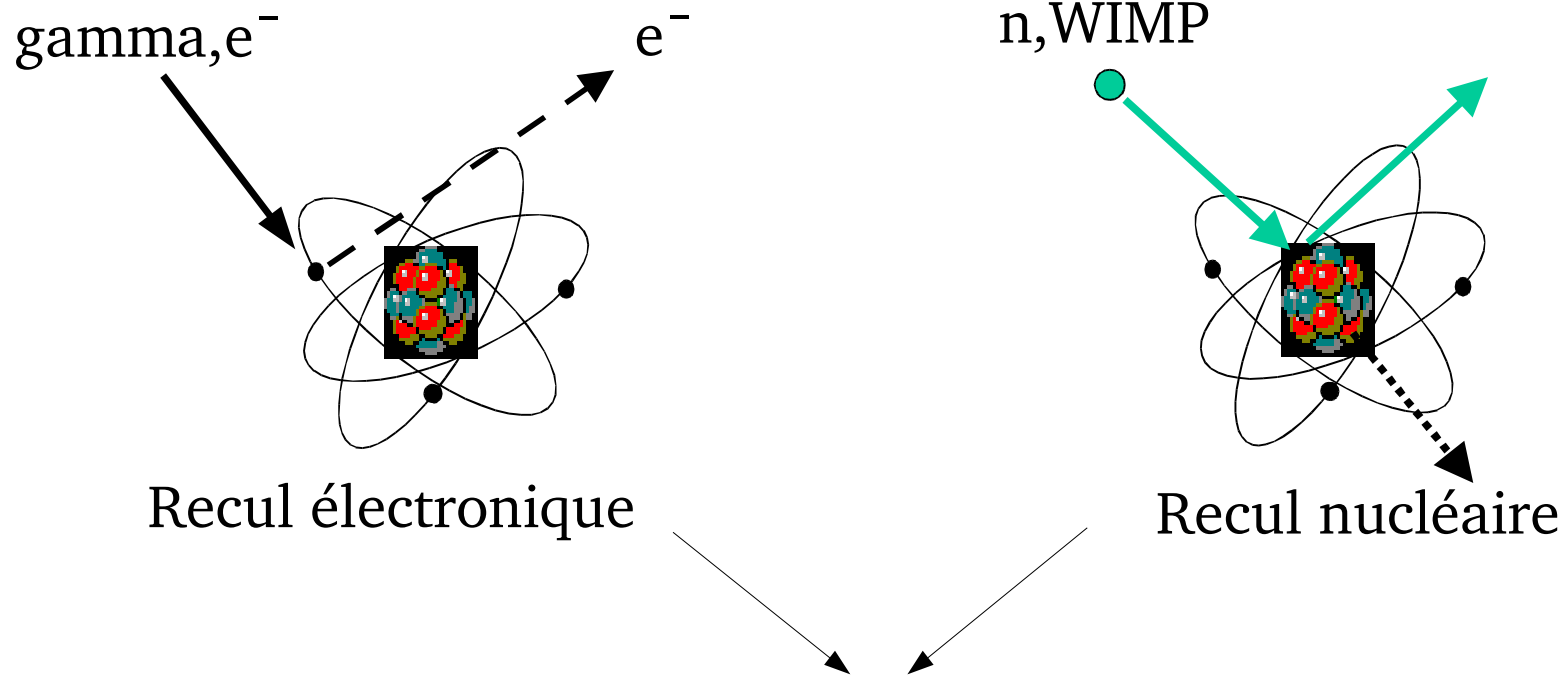
- ★ Asymétrie dans la directionnalité

des reculs nucléaires (plus complexe): Projet DRIFT

→ Grande masse de détecteurs



Discrimination

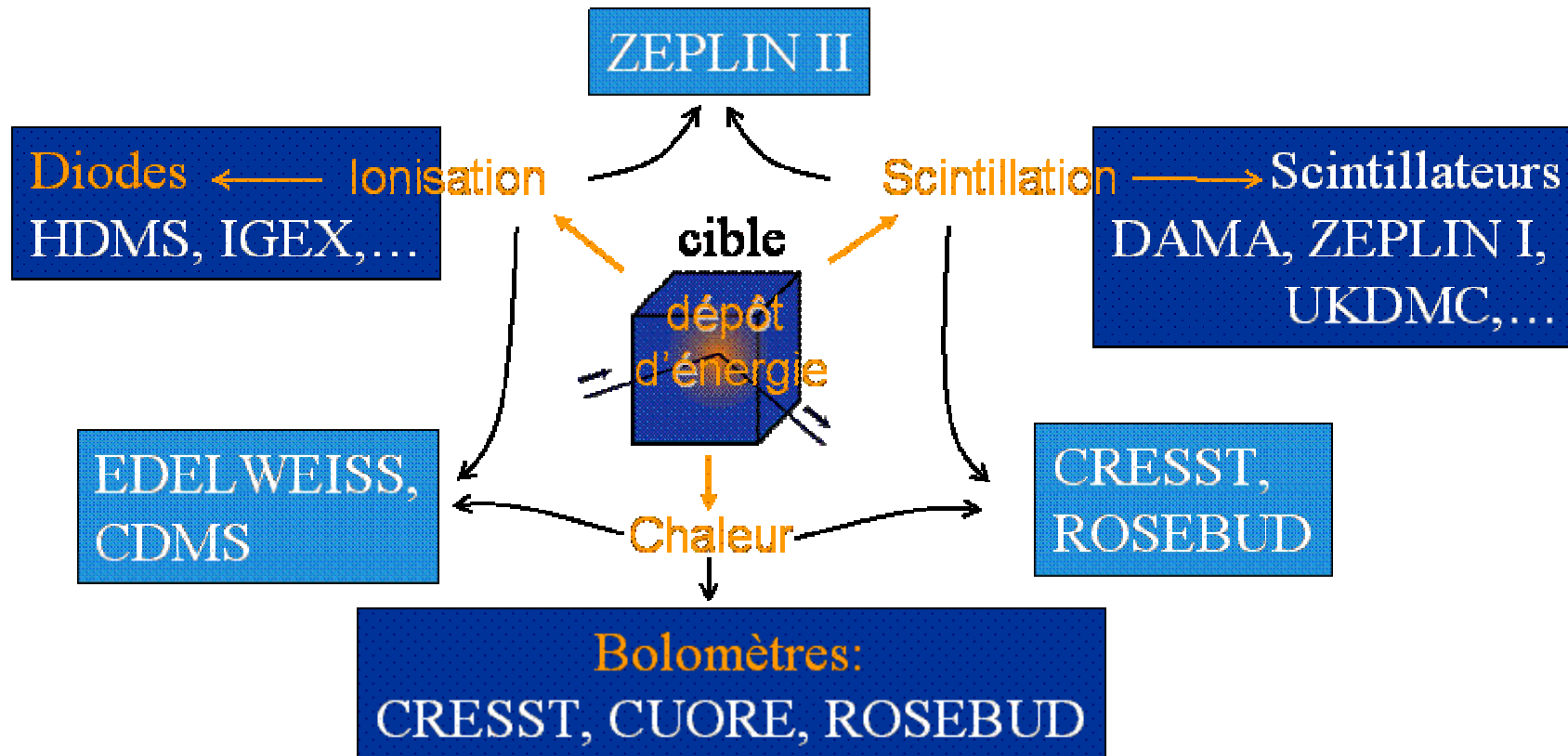


Efficacités d'ionisation différentes



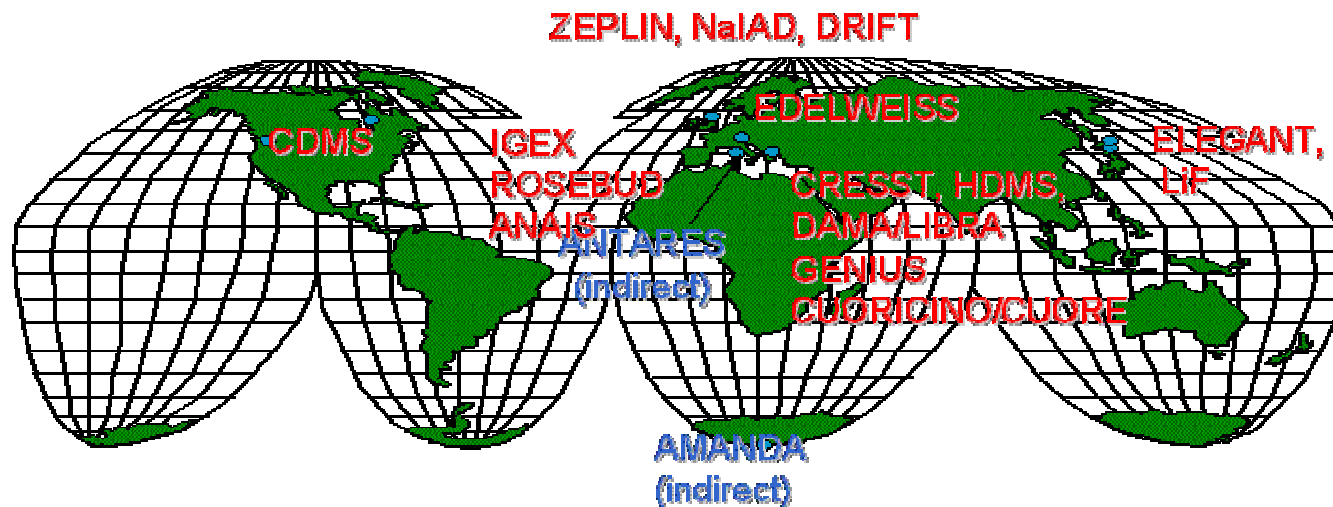
Les stratégies de détection :

Rejet du bruit de fond



La Détection Directe dans le monde

- EDELWEISS (cryo Ge @ Fréjus)
- CDMS-I (cryo Ge and Si @ Stanford), CDMS-II @ Soudan Mine
- CRESST (cryo CaWO_4) @ Gran Sasso
- ZEPLIN, DRIFT, NaIAD @ Boulby Mine
- DAMA/LIBRA (NaI, Xe @ Gran Sasso)
- IGEX @ Canfranc, HDMS/GENIUS-TF (Ge) @ Gran Sasso
- ROSEBUD (cryo BGO), ANAIS (NaI)
- CUORICINO/ CUORE (TeO_2) @ Gran Sasso
- SIMPLE, MACHe3, ORPHEUS (Bern)
- ELEGANT, LiF @Japan
- Future experiments: CryoArray, XMASS, XENON, MAJORANA...



Les Expériences de Matière Noire par Site

Site	Experiment	Technique	Target	Status
Baksan (Russia)	IGEX	Ionisation	3kg Ge	Operational
Bern (Switzerland)	ORPHEUS	SSD	0.5kg Sn	Operational
Boulby (UK)	NaI	Scintillator	5kg NaI	Completed
	NaIAD	Scintillator	50kg NaI	Operational
	ZEPLIN I	Scintillator	5kg Lxe	Operational
	ZEPLIN II/III	Scintillator/Ionisation	30kg/7kg Xe	Construction
	ZEPLIN-MAX	Scintillator/Ionisation	1000kg Xe	Planned
	DRIFT-I	TPC	0.2kg CS ₂	Operational
Canfranc (Spain)	DRIFT-10	TPC	2kg CS ₂	Planned
	COSME	Ionisation	0.2kg Ge	Completed
	IGEX	Ionisation	2.1kg Ge	Operational
	AN AIS	Scintillator	107kg NaI	Construction
Frejus (France)	ROSEBUD	Thermal	Al ₂ O ₃ Ge,CaWO ₄	Operational
	Saclay-NaI	Scintillation	10kg NaI	Completed
	EDELWEISS I	Thermal/Ionisation	0.07kg Ge	Completed
	EDELWEISS II	Thermal/Ionisation	1.3 kg Ge	Operational
Gran Sasso (Italy)	Hdberg/Mscw	Ionisation	2.7kg Ge	Completed
	HDMS	Ionisation	0.2kg Ge	Operational
	Genius	Ionisation	100kg Ge	Planned
	DAMA	Scintillation	100kg NaI	Operational
	LIBRA	Scintillation	250kg NaI	Construction
	Xenon	Scintillation	6kg Xe	Operational
	CRESST-I	Thermal	1kg Al ₂ O ₃	Operational
	CRESST-II	Thermal/Scintillation	10kg CaWO ₄	Construction
	CUORICINO	Thermal	40kg TeO ₂	Construction
	CUORE	Thermal	760kg TeO ₂	Planned
Kamioka (Japan)	XMAS	Scintillator/Ionisation	3 kg Xe	Operational
			1000 kg Xe	Planned
Otto-Cosmo (Japan)	Elegants V	Scintillation	NaI	Operational
	Elegants VI	Scintillation	CaF ₂	Operational
	LiF	Thermal	LiF	Operational
Rustrel (France)	SIMPLE	SDD	Freon	Operational
Stanford (USA)	CDMS-I	Thermal/Ionisation	0.1kg Si, 1kg Ge	Completed
Soudan (USA)	CDMS-II	Phonons/Ionisation	0.3kg Si, 0.75kg Ge	Construction
			2 kg Si, 7 kg Ge	Construction
	Cryo Array		100-1000 kg Ge	Planned
??? (USA)	XENON	Scintillator/Ionisation	1000 kg Xe	Planned
Sudbury (Canada)	PICASSO	SDD	1g Freon	Operational

R.Gaitskell
NFAC Juillet 02



Les Détecteurs Massifs

- ★ DAMA : ~ 100 kg NaI

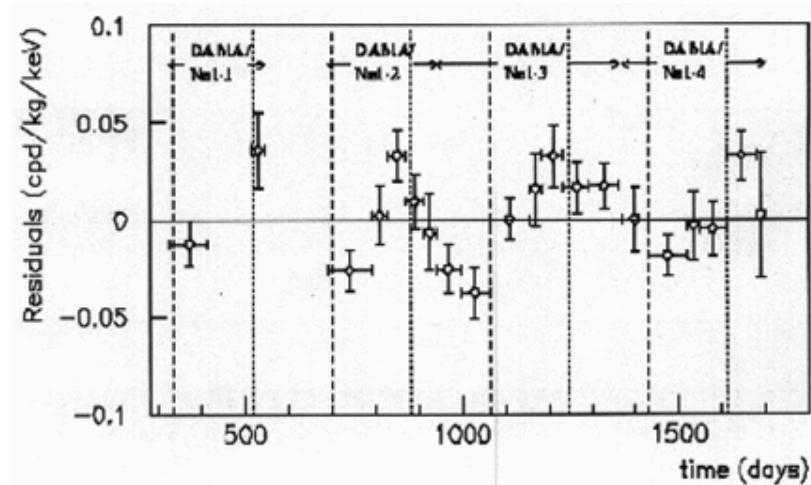
- ★ Modulation annuelle compatible avec

$$M_\chi \approx 52 \text{ GeV}$$

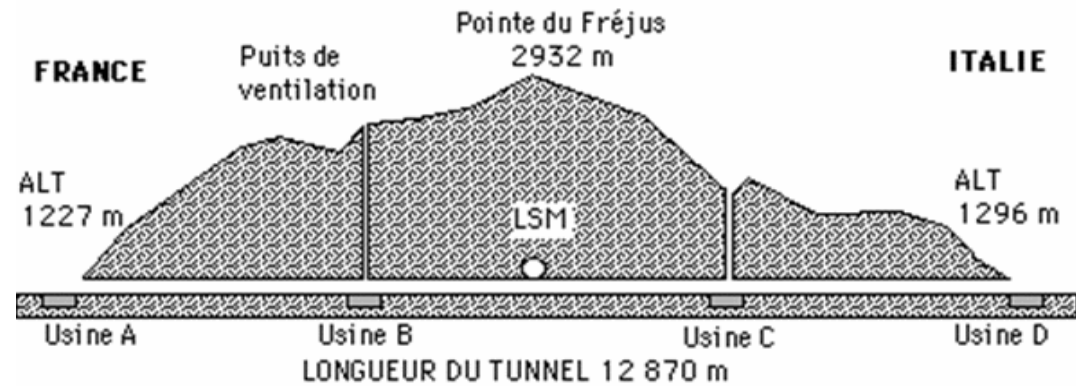
$$\sigma_{\chi-N} \approx 7.2 \cdot 10^{-6} \text{ pb}$$

- ★ ZEPLIN I : ~ 6 kg Xe Liquide

- ★ IGEX : ~ 2 kg Ge



EDELWEISS : Le site du LSM



★ Taux d'événement faible :

★ Blindages passifs

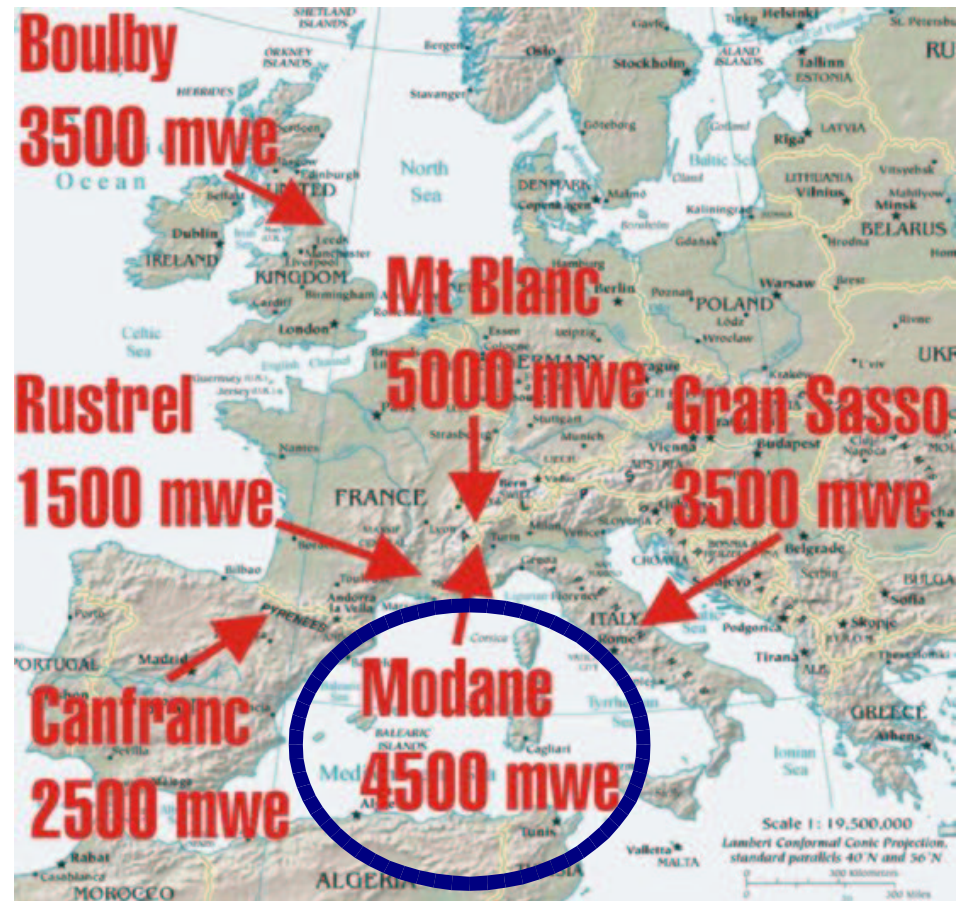
★ Site Souterrain

★ Abrité sous 1700m de roche

★ Flux de muons de 4 /m²/j

★ Radioactivité de la roche :

$$1.6 \times 10^{-6} \text{ n/cm}^2/\text{s}$$



Les détecteurs bolométriques à double composante

- ★ Mesure de la chaleur :

- ★ Détecteurs cryogéniques : *Thermometre (NTD Ge)*

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{C}, C \propto T^3$$

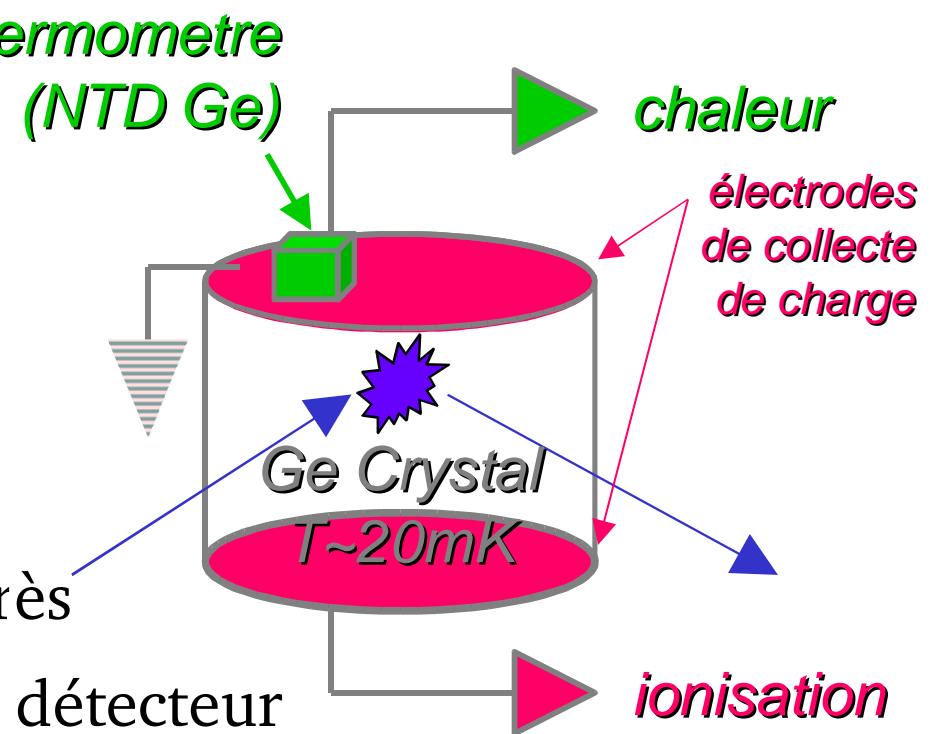
- ★ Besoin de C petit

- ★ Mesure de l'ionisation :

- ★ Germanium Semiconducteur

- ★ Collecte des charges créées après interaction par polarisation du détecteur

- ★ Donne accès à E_{recul} après prise en compte de l'effet Luke



Discrimination gammas/neutrons

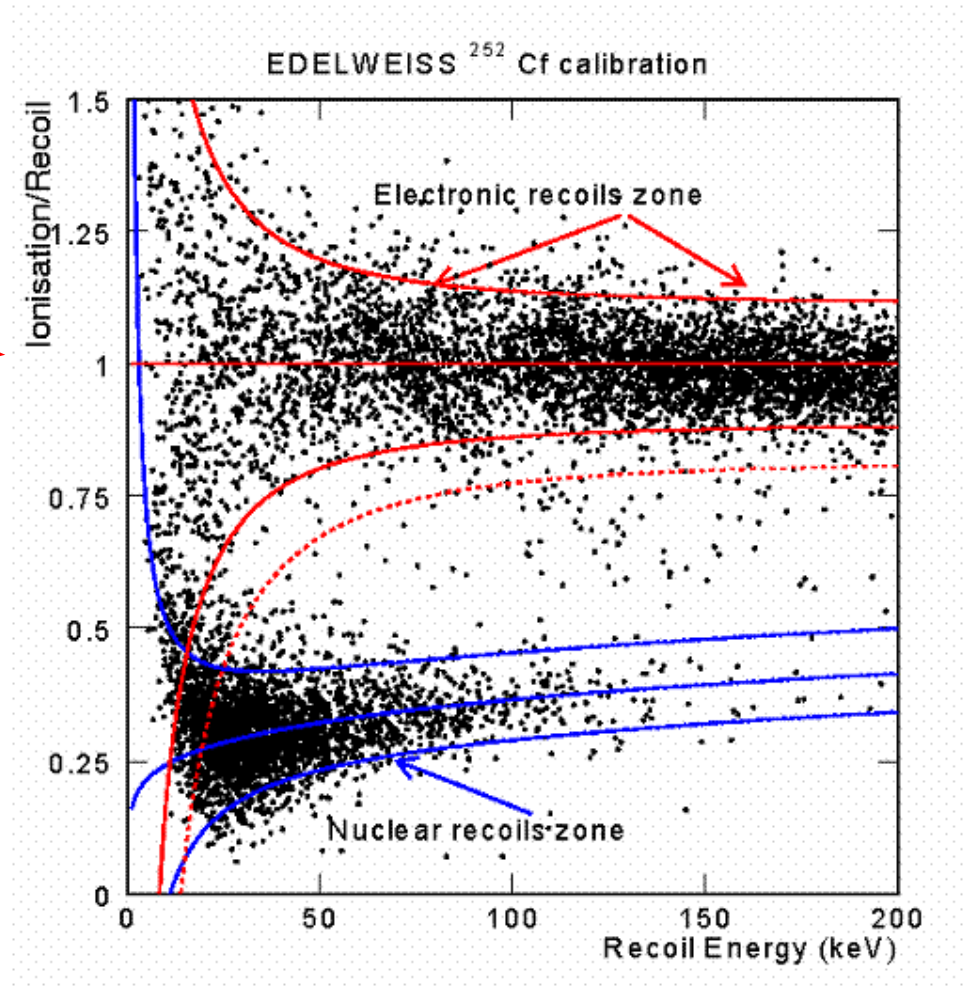
Reculs Electroniques
(BDF gamma)

$$\frac{E_{\text{ionisation}}}{E_{\text{recoil}}} = 1$$

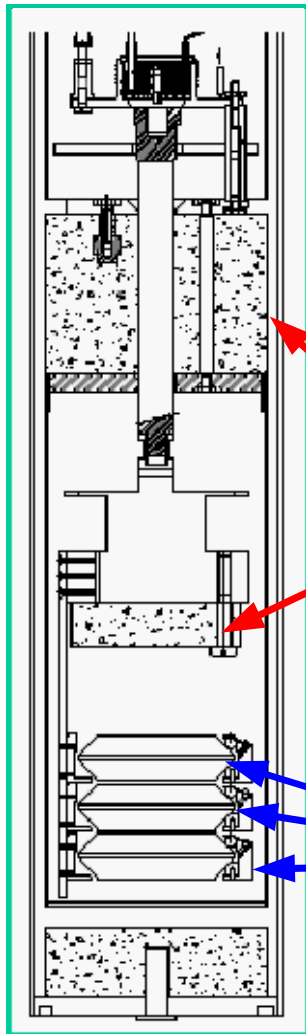
(par construction)

Reculs Nucléaires
(neutrons, WIMPs)

$$\frac{E_{\text{ionisation}}}{E_{\text{recoil}}} \approx \frac{1}{3}$$



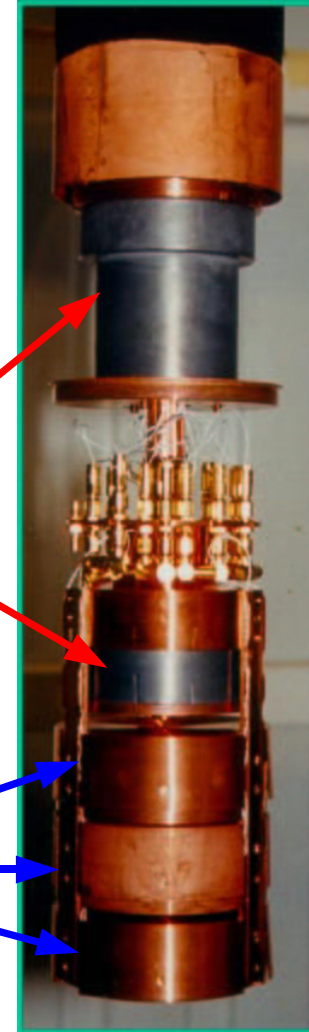
Edelweiss I : Etape 1 kg



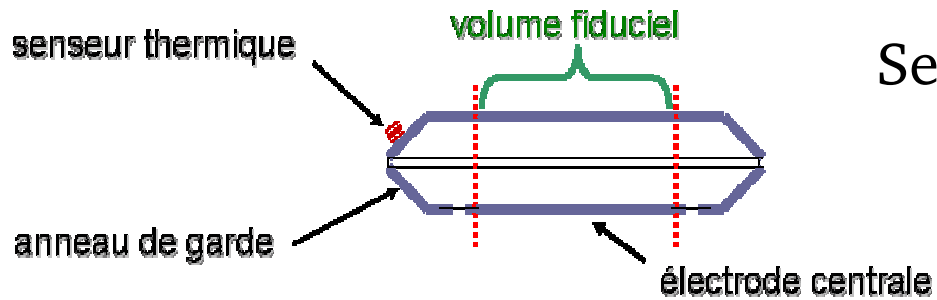
Cryostat à dilution
de bas bruit de fond
 T de base ~ 15 mK

Blindage de
plomb archéologique

Détecteurs
 3×320 g

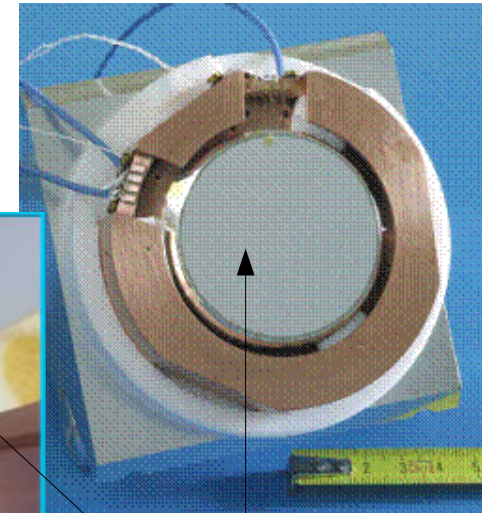


Les détecteurs Edelweiss (CEA)

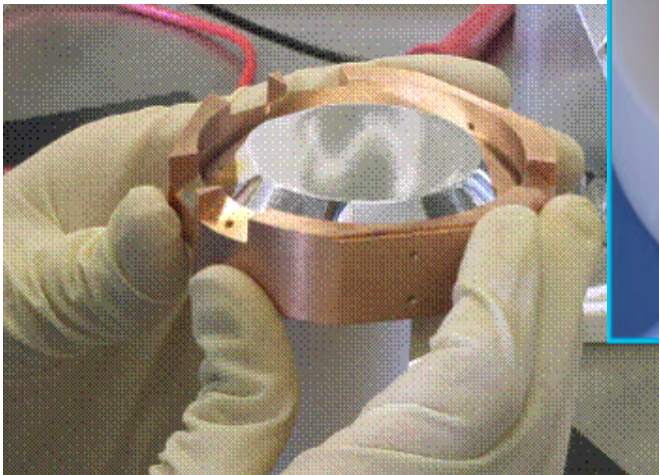


Senseur Thermique
NTD

Vue de dessous



Electrode Al
segmentées



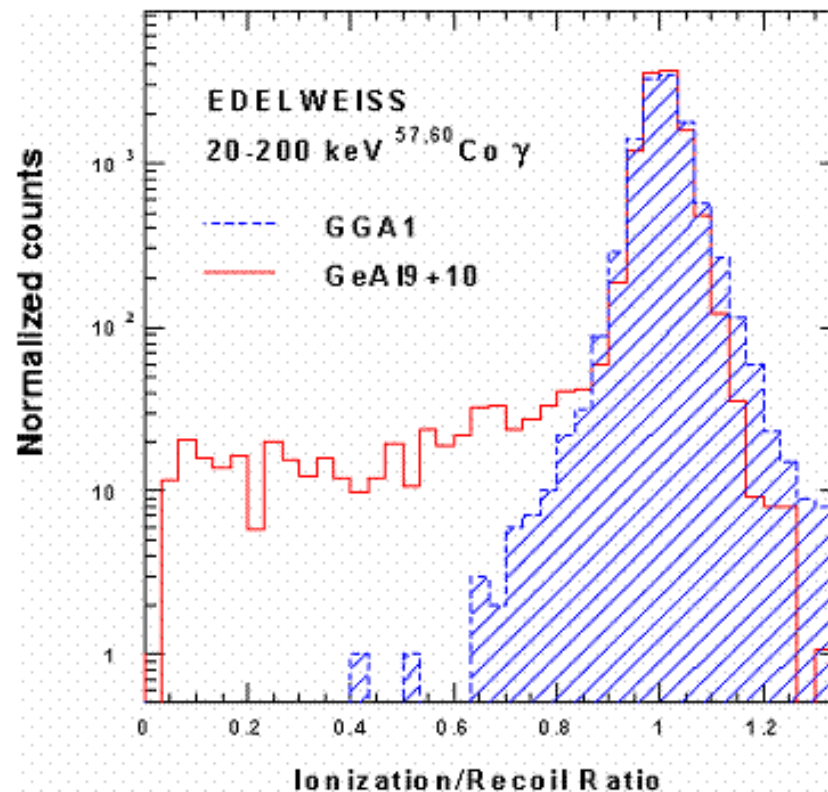
Vue de dessus

=> Depuis 2002 GGA1 : couche amorphe de Ge



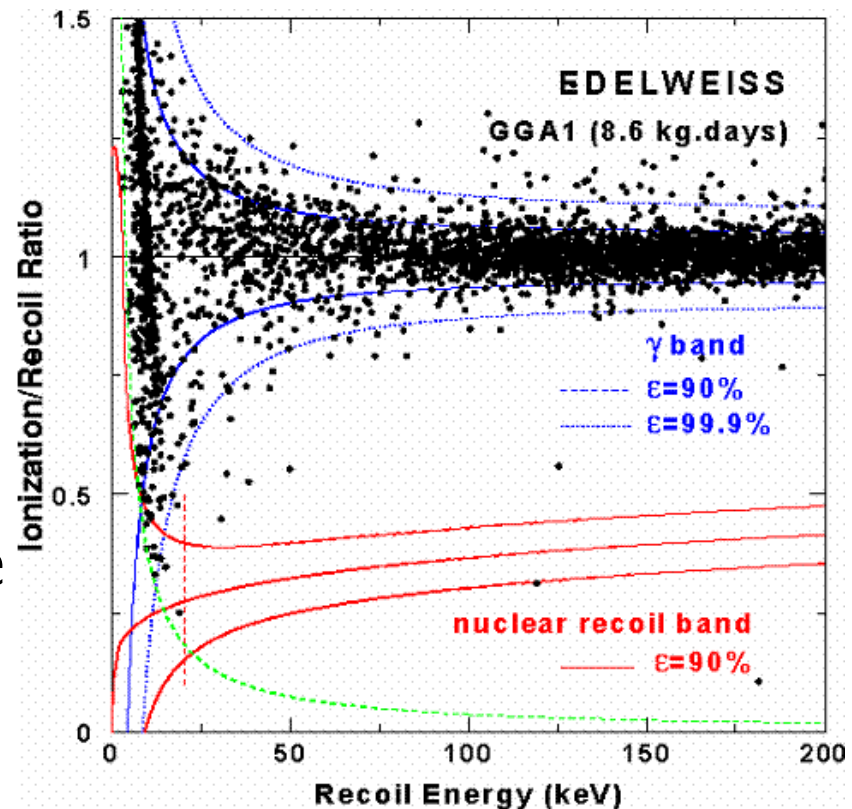
Discrimination Gamma

- ★ Calibration $^{57,60}\text{Co}$
- ★ Région $Q < 0.5$:
 - ★ 0.01 % pour GGA1
 - ★ ~ 2 % pour GeAl
- ★ Problèmes de collection de charges
- ★ Seul GGA1 utilisé pour établir la limite sur $\sigma_{\chi-N}$



Résultats 2002

- ★ 54 j de prise de donnée
(15.2 kg.j 12% de temps mort)
- ★ 8.6 kg.j d'exposition
- ★ Seuil pour Er à 20 keV
- ★ Seuil en ionisation à 3.7 keV
- ★ 1 événement à la limite de la zone nucléaire mais ne peut être dû à un WIMP de masse < 10 TeV à 95 %

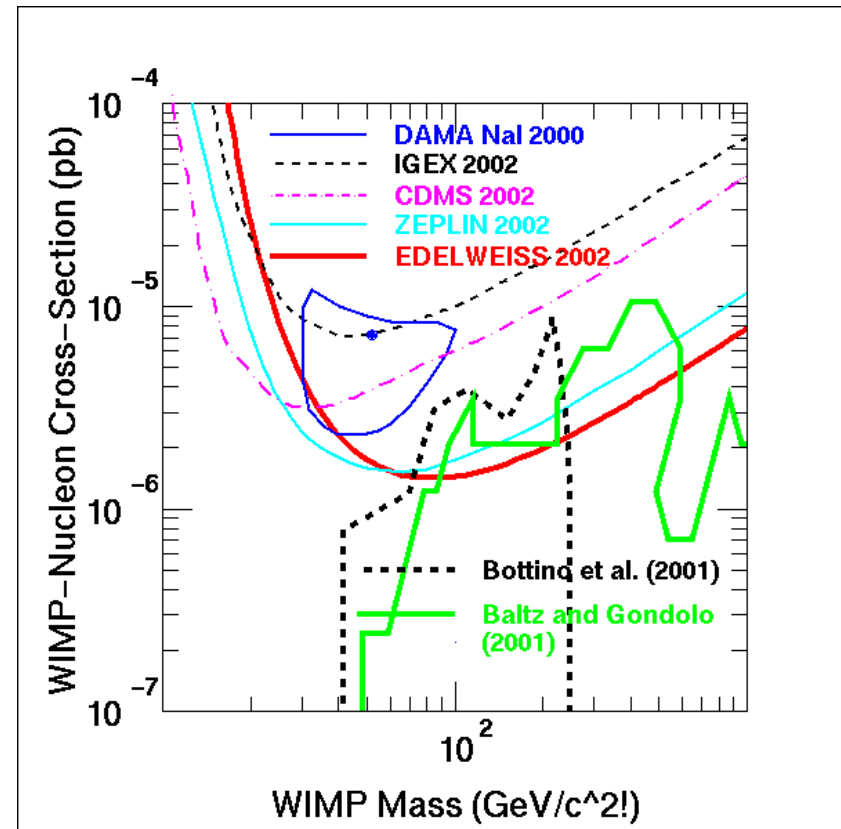


Courbes d'exclusion

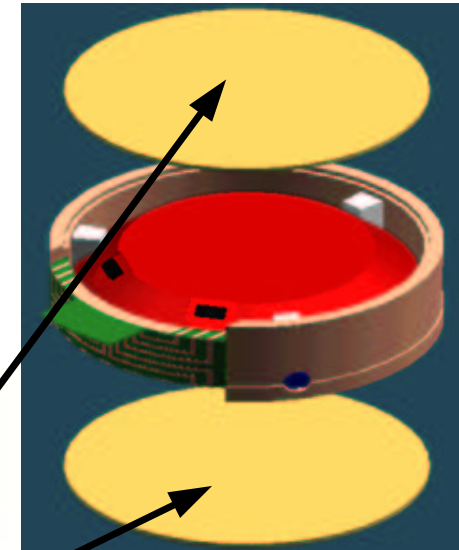
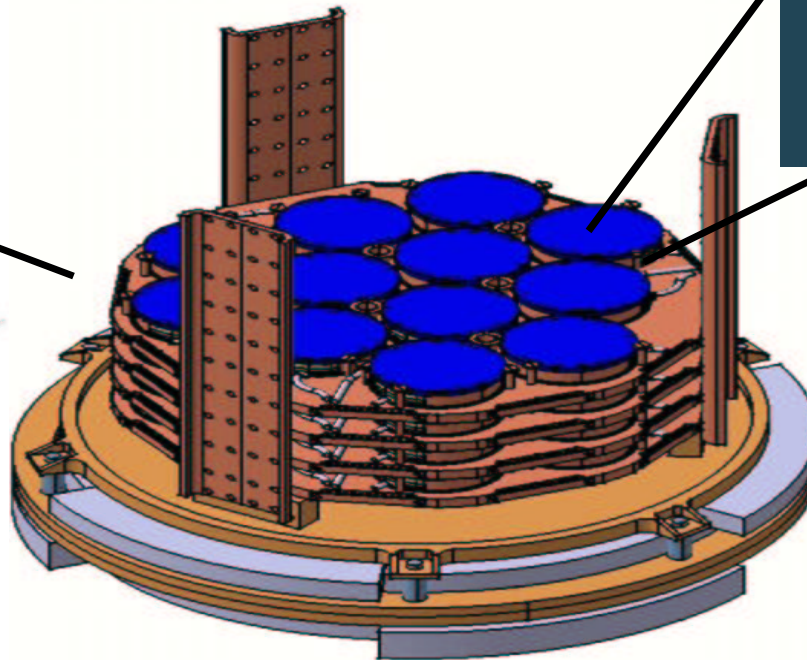
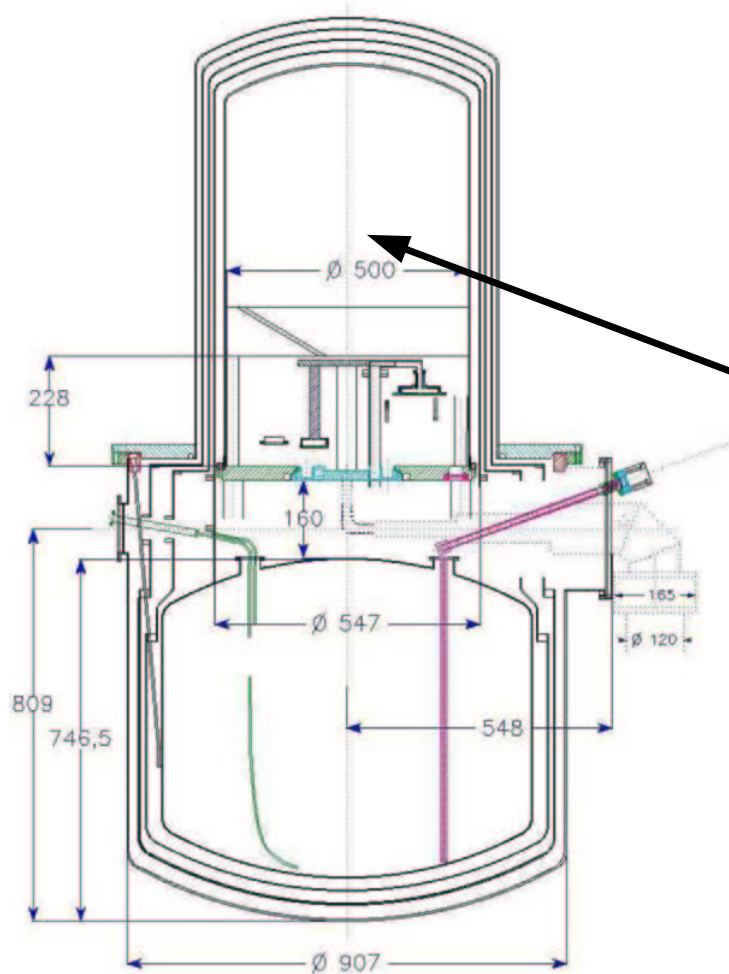
- ★ Exploration de modèles SUSY
- ★ Meilleure limite à haute masse
 - ★ Résultats obtenus avec un seul détecteur cryogénique de 320g

Les détecteurs cryogéniques sont un très bon outil pour atteindre des sections efficaces faibles

➡ Extension à plusieurs détecteurs



Edelweiss II

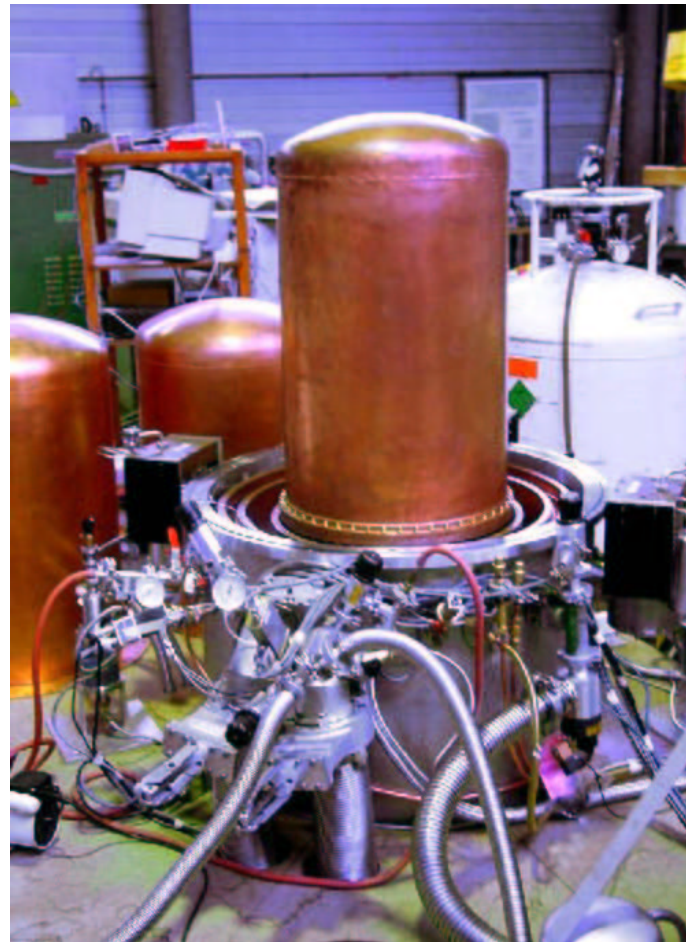


- 1ère étape de $28 \times 320g$ financés
- 2ème étape : ~ 100 détecteurs



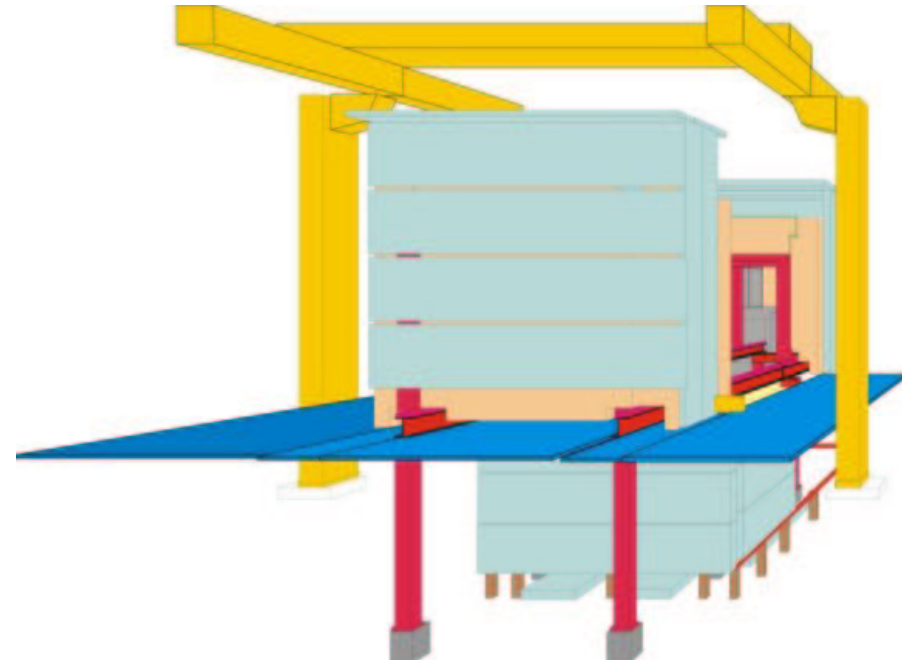
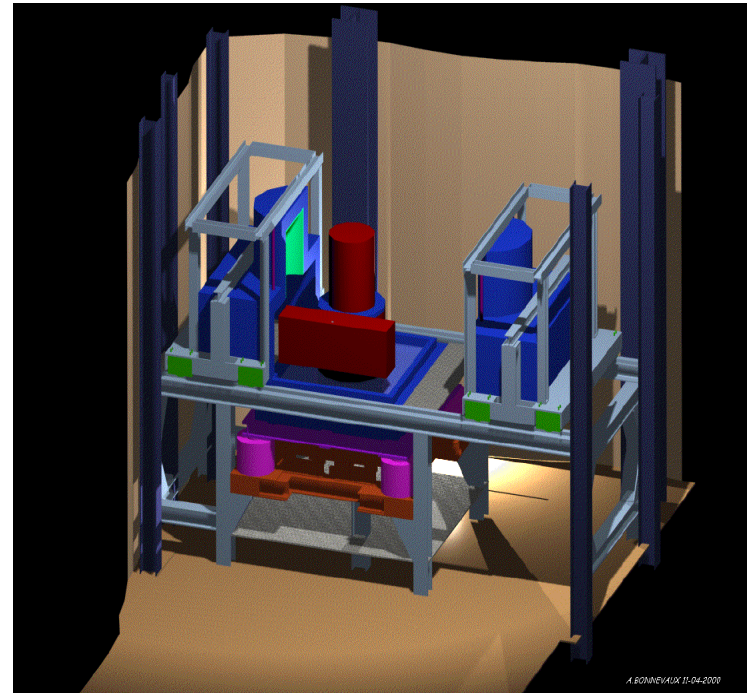
Edelweiss II : Le Cryostat Renversé (CRTBT)

- ★ Grand Volume ~ 100 l
- ★ Cryostat basse radiation
- ★ Température à vide ~ 10 mK
- ★ Géométrie renversée : plus pratique pour manipuler les détecteurs et moins de vibrations
- ★ Pas d'azote (pas d'ébullition)
- ★ Reliquéfacteur d'Hélium



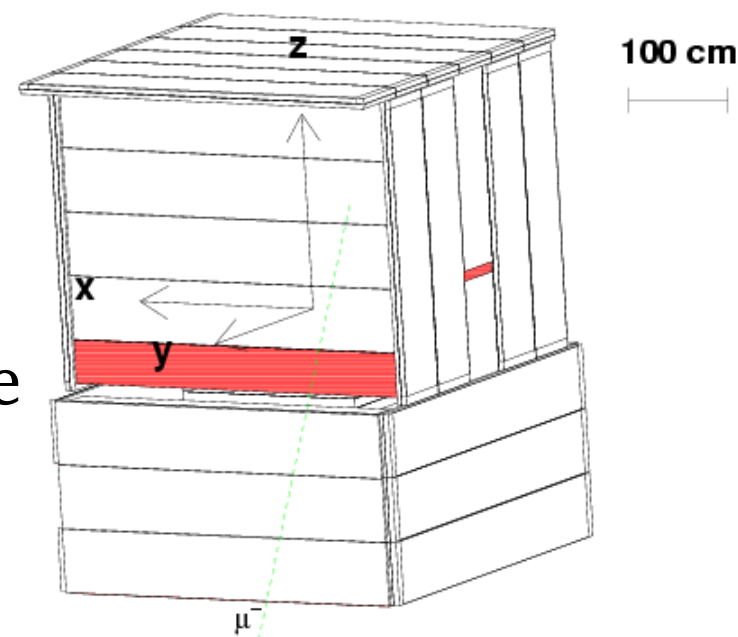
Configuration Edelweiss II :

- ★ Sensibilité Edw I :
0.2 evt/kg/j
- ★ Sensibilité attendue Edw II :
0.002 evt/kg/j
- ★ Atteinte si réduction du
BDF neutrons
 - ★ Blindages passifs
(polyéthylène)
 - ★ Veto muon externe actif

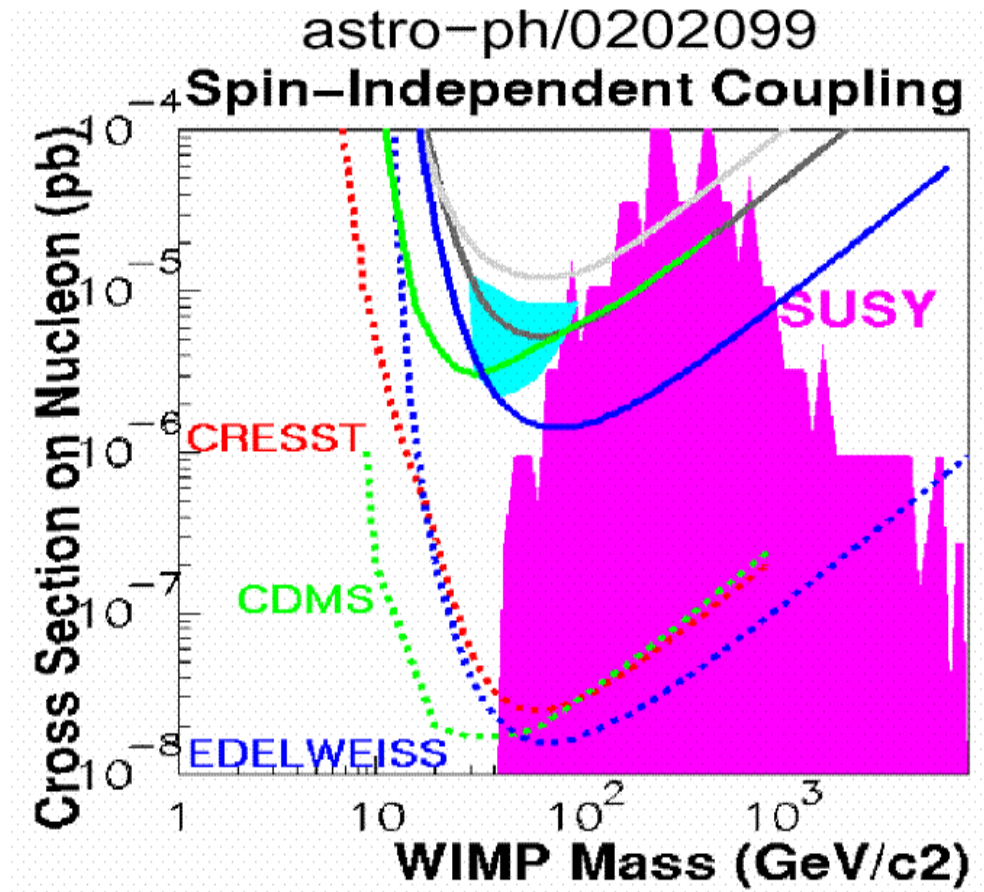


Le Veto Muon

- ★ $\sim 140 \text{ m}^2$ de scintillateurs plastiques :
 - ★ Modules Karmen(Karlsruhe)/Dubna
- ★ Tests des modules au sol/LSM :
 - ★ But : fixer les seuils de détection des muons
- ★ Simulation de l'efficacité géométrique de détection des muons :
 - ★ $> 99 \%$ à 90% C.L



Perspectives



EDELWEISS II => Sensibilité améliorée d'un facteur 100

→ $\sigma_{SI} \approx 10^{-8} pb$



Conclusion

- ★ Limite d'exclusion EDW I : exclusion du signal DAMA à plus de 99.8 %
- ★ Montage EDW II : 2003-2004 (Prise de donnée fin 2004)
- ★ La sensibilité EDW II permettra de tester une grande partie des paramètres SUSY
- ★ Détecteurs Cryogéniques=Très bonne Discrimination gamma/neutron
 - ★ Facteur limitant pour la suite = **BDF neutron**
- ★ Sensibilité atteinte si l'efficacité de détection des muons est **> 95 %** =>Nécessité d'une étude détaillée du veto

